

PEMODELAN PROSES PENGERINGAN MEKANIS TEPUNG KASAVA DENGAN MENGGUNAKAN *PNEUMATIC DRYER*: HUBUNGAN KAPASITAS OUTPUT DENGAN VARIABEL PROSES PENGERINGAN

Modelling on Mechanical Cassava Flour Drying Process by Using Pneumatic Dryer:
Correlation of Output Capacity and Drying Process Variables

Yus Witdarno¹, Nursigit Bintoro², Bandul Suratmo², Budi Rahardjo²

¹Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Musamus, Jl. Kamizaun, Mopah lama, Merauke 99611

²Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada,
Jl. Flora No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281
Email: buluhbulan@gmail.com

ABSTRAK

Pada proses pengeringan, kapasitas output (Q_o) merupakan salah satu parameter penting yang perlu diketahui. Parameter ini dapat dipakai untuk mengevaluasi efektivitas kinerja proses pengeringan. Pada metode pengeringan secara pneumatik, penentuan kapasitas output mesin pengering secara teoritis, masih relatif kompleks. Diperlukan cara perhitungan yang lebih sederhana untuk dapat memprediksi kapasitas output mesin pengering pneumatik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghubungkan secara matematis antara nilai Q_o dengan beberapa variabel proses pengeringan pneumatik tepung kasava dengan menggunakan metode analisis dimensi. Hasil analisis data memberikan hubungan antara nilai Q_o dengan variabel-variabel proses pengeringan sebagai berikut:

$$\left(\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2} \right) = 1,1598 \times 10^{-9} \cdot \left(\frac{Q_i^2}{D_p^5 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2} \right)^{-0,1246} \cdot \left(\frac{V_u^4}{g^2 D_p^2} \right)^{0,2528} \cdot \left(\frac{D_p}{D_{pr}} \right)^{-0,1396}$$

Persamaan tersebut mempunyai nilai koefisien determinasi yang cukup besar, sehingga dapat digunakan untuk memprediksi kapasitas output pada pengeringan pneumatik. Hasil uji sensitivitas menunjukkan bahwa *dimensionless product* yang paling berpengaruh terhadap nilai Q_o adalah $\frac{D_p}{D_{pr}}$ yang mencapai 11,53%.

Kata kunci: Tepung kasava, *pneumatic drying*, analisis dimensi, kapasitas output

ABSTRACT

In the drying process, output capacity (Q_o) is one of important parameter which should be known because it can be used to evaluate the effectiveness of drying process performance. Theoretically, determination of the output capacity of the drying machine in pneumatic drying is still relatively complex. So, a simple calculation method to predict output capacity of the pneumatic drying machine is required. The main objective of this research was to formulate a mathematical relationship between Q_o value and various pneumatic drying variables of cassava flour by applying dimensional analysis. The results showed relationship between Q_o value and the drying process variables as follows:

$$\left(\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2} \right) = 1,1598 \times 10^{-9} \cdot \left(\frac{Q_i^2}{D_p^5 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2} \right)^{-0,1246} \cdot \left(\frac{V_u^4}{g^2 D_p^2} \right)^{0,2528} \cdot \left(\frac{D_p}{D_{pr}} \right)^{-0,1396}$$

This equation has a quite high coefficient of determination, and potentially usable for predicting the output capacity in pneumatic drying. Sensitivity analysis indicated that the dimensionless product which had the largest effect on Q_o was $\frac{D_p}{D_{pr}}$ that reached 11.53%.

Keywords: Cassava flour, pneumatic drying, dimensional analysis, output capacity

PENDAHULUAN

Dalam proses produksi tepung kasava, pengeringan merupakan bagian yang sangat vital untuk memperoleh hasil dengan kualitas dan kuantitas yang baik. Untuk itu, diperlukan pengaturan mesin pengering yang tepat untuk mendapatkan hasil penepungan yang sesuai dengan standar yang dikehendaki. Pada proses produksi tepung kasava maupun pati kasava telah banyak diaplikasikan metode pengeringan secara pneumatik (*pneumatic drying*).

Pneumatic drying adalah proses pengeringan yang memanfaatkan media udara sebagai pembawa panas dan bahan yang dikeringkan dengan proses yang terjadi dalam waktu singkat. Metode pengeringan ini relatif sederhana dalam operasi, sedikit membutuhkan tempat, sesuai untuk pengeringan bahan makanan yang peka terhadap panas, dan sistem kontrol umumnya dapat merespon dengan sangat cepat terhadap perubahan kondisi operasional proses pengeringan. Pengeringan tepung secara pneumatik dilakukan di dalam saluran pipa pengering sehingga tepung yang dihasilkan bersih dan bebas dari kotoran. Menurut Pelegrina dan Crapiste (2001), pengeringan pneumatik secara luas digunakan dalam industri makanan untuk mendapatkan produk berkualitas tinggi, khususnya biji-bijian, tepung, sayur, dan buah-buahan. Nugroho dkk. (2012) berpendapat *pneumatic (flash) dryer* merupakan mesin pengering yang memanfaatkan udara panas berkecepatan tinggi dalam proses pengeringan bahannya. Mujumdar (1987), juga menyatakan bahwa aliran panas konveksi antara gas dan partikel sangat tinggi mengakibatkan waktu proses pengeringan bahan sangat cepat. Pendapat tersebut didukung juga oleh Dhankhar (2014), yang menyatakan bahwa pengeringan berlangsung dalam hitungan detik sehingga dikelompokkan sebagai tipe pengering singkat (kurang dari 1 menit). Lebih lanjut dikemukakan bahwa bahan basah bercampur dengan udara pengering dan mengalir bersama melalui saluran pengering dimana tingkat perpindahan panas tinggi sehingga produk cepat kering. Selanjutnya Kilfoil (2013), mengemukakan bahwa gerakan mengalirnya bahan (partikel) ini disebabkan oleh gaya dari udara pengering yang diberikan ke bahan. Penjelasan di atas menunjukkan bahwa pengering pneumatik mempunyai kemampuan yang tinggi dan sesuai diterapkan pada industri-industri pengolahan produk pertanian.

Namun demikian terdapat juga beberapa kelemahan dari pengering pneumatik ini. Menurut Canavas dkk. (2005), keterbatasan sistem *pneumatic drying* antara lain konsumsi daya tinggi dan bahan kohesif seringkali sulit untuk ditangani dalam saluran pipa pengering. Menurut Dhankhar (2014), *pneumatic drying* tidak cocok digunakan pada bahan yang mudah lengket dan bahan yang berminyak.

Berbagai macam parameter dalam proses pengeringan perlu untuk diketahui guna mengevaluasi kinerja proses pengeringan tersebut. Pada proses pengeringan umumnya parameter-parameter seperti kebutuhan panas udara pengering, efisiensi pemanasan, efisiensi pengeringan, *coefficient of performance*, dan kapasitas kerja merupakan parameter-parameter yang perlu diketahui. Menurut Mujumdar (1987), parameter utama yang digunakan dalam desain *pneumatic drying* antara lain ukuran diameter partikel, kadar air awal dan akhir dari bahan yang dikeringkan, temperatur udara pengering, konduktivitas panas, dan kapasitas output pengeringan yang diinginkan. Kapasitas kerja (*output*) proses pengeringan menunjukkan kemampuan kerja dari suatu mesin pengering. Pada suatu industri pertanian yang dalam proses produksinya melibatkan pengeringan, maka kapasitas kerja mesin pengering akan menentukan kecepatan proses produksi secara keseluruhan. Hal ini dikarenakan proses pengeringan umumnya memakan waktu yang paling lama. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengetahui metode perhitungan untuk menentukan kapasitas kerja proses pengeringan tersebut.

Dalam praktik, kapasitas kerja proses pengeringan ditetapkan dengan cara mengukur banyaknya bahan yang dikeringkan dibagi dengan lama waktu proses pengeringan yang dibutuhkan untuk mengeringkan bahan tersebut. Sudah barang tentu hal ini akan dapat dilakukan setelah operasional proses pengeringan tersebut dilakukan. Untuk kepentingan perancangan kapasitas kerja mesin pengering itu sendiri, maka diperlukan persamaan-persamaan teoritis yang dapat digunakan untuk memprediksi atau menghitung kapasitas kerja mesin agar hasil rancangan mesin pengering sesuai dengan kebutuhan. Mao dkk. (2009), berpendapat bahwa dalam beberapa dekade terakhir, istilah seperti "kapasitas pengeringan" atau "kemampuan pengeringan" telah muncul dalam kepustakaan. Namun hasil-hasil kajiannya belum ada metode yang disepakati untuk mengevaluasi pengeringan atau suatu teknik untuk memperkirakan nilainya. Metode evaluasi harus memperhatikan dua faktor yaitu kadar air dan kondisi dasar untuk menjaga lingkungan pengujian pada kondisi konstan.

Sampaio dkk. (2007), melakukan penelitian pengeringan *natural coffee* dan *Parchment coffee* dengan sistem pneumatik. Salah satu hasil penelitiannya untuk *natural coffee*, dari kadar air awal $24,6 \pm 1,8\%$ wb yang dikeringkan menjadi kadar air $11,9 \pm 1,3\%$ wb dengan suhu 60°C , dari berat bijian awal 136 kg memerlukan waktu 11,5 jam untuk menurunkan berat bijian akhir menjadi 116 kg sehingga dapat dihitung bahwa kapasitas kerja berdasarkan output bahan adalah 10,09 kg/jam. Adapun untuk *parchment coffee*, dari kadar air awal $33,9 \pm 2,1\%$ wb dikeringkan menjadi kadar air akhir $12,0 \pm 1,5\%$ wb dengan suhu pengering 60°C dari berat bijian awal 232 kg memerlukan waktu 14,0 jam untuk menjadi berat bijian

akhir 166 kg atau kapasitas output 11,85 kg/jam. Penelitian-penelitian tersebut di atas tidak memberikan solusi persamaan matematis untuk memprediksi kapasitas output dari proses pengeringan secara pneumatik.

Karena kompleksnya parameter-parameter yang terlibat dalam penentuan kapasitas kerja mesin pengering pneumatik, maka banyak sekali kesulitan yang akan dihadapi untuk menentukan kapasitas pengeringan pneumatik secara analitik. Untuk menyederhanakan permasalahan tersebut, penelitian ini akan menggunakan analisis dimensi untuk memformulasikan persamaan matematis untuk menentukan kapasitas proses pengeringan secara pneumatik.

Analisis dimensi merupakan analisis yang sederhana tetapi mempunyai kemanfaatan besar yang memungkinkan peneliti mempunyai pengalaman merancang skala kecil, tidak mahal namun secara simulasi tidak sukar dilaksanakan dalam laboratorium. Menurut Lam (2004), di dalam masalah-masalah diluar teknik elektronika, ada tiga dimensi dasar satuan fisik yaitu massa (M), panjang (L), dan waktu (T). Teori π -Buckingham menyatakan bahwa bila terdapat sejumlah "n" variabel (dependent dan independent) dalam suatu persamaan yang berdimensi homogeny dan bila variabel-variabel tersebut mengandung "m" dimensi dasar (M, L, T), maka variabel-variabel tersebut dapat disusun menjadi "m-n" kelompok tak berdimensi (*dimensionless product*) dan kelompok-kelompok tak berdimensi tersebut disebut sebagai kelompok π (Kute dkk., 2014).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghubungkan secara matematis kapasitas output dengan beberapa variabel proses pengeringan pneumatik dengan menggunakan metode analisis dimensi. Adanya hubungan matematis sederhana ini akan sangat membantu para perancang dalam mengkonstruksi mesin pengering pneumatik maupun operator mesin pengering untuk meningkatkan operasional proses pengeringan yang lebih efisien.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini analisis dimensi digunakan untuk mencari hubungan kuantitatif antara sifat-sifat fisik tepung yang dikeringkan dengan beberapa variabel mesin pengering serta proses pengeringannya. Hubungan yang akan dicari adalah hubungan matematis antara kapasitas output proses pengeringan dengan variabel-variabel proses pengeringan pneumatik dan sifat bahan yang dikeringkan. Tabel 1 menyajikan beberapa variabel yang diduga mempunyai hubungan dengan nilai kapasitas output proses pengeringan tepung kasava secara pneumatik.

Tabel 1. Independen dan dependen variabel pada analisis dimensi kapasitas output

	Nama Variabel	Simbol	Satuan	Dimensi
a.	Kapasitas output bahan	Q_o	Kg/s	MT^{-1}
b.	Kecepatan udara pengering	V_u	m/s	LT^{-1}
c.	Diameter pipa	D_p	m	L
d.	Panjang pipa	P_p	m	L
e.	Gravitasi	g	m/s^2	LT^{-2}
f.	Kapasitas input bahan	Q_i	Kg/s	MT^{-1}
g.	Diameter partikel	D_{pr}	m	L
h.	Densitas partikel	ρ_{pr}	Kg/m^3	ML^{-3}

Dengan menggunakan metode analisis dimensi maka dihasilkan lima *dimensionless product* sebagai berikut:

$$\pi_1 = \left(\frac{Q_o}{D_p^{1/2} \cdot P_p \cdot g^{1/2} \cdot \rho_{pr}} \right) \quad (1)$$

$$\pi_2 = \left(\frac{Q_i}{D_p^{1/2} \cdot P_p \cdot g^{1/2} \cdot \rho_{pr}} \right) \quad (2)$$

$$\pi_3 = \left(\frac{V_u}{g^{1/2} D_{pr}^{1/2}} \right) \quad (3)$$

$$\pi_4 = \left(\frac{P_p \cdot D_p}{D_{pr}^2} \right) \quad (4)$$

$$\pi_5 = \left(\frac{D_p}{P_p} \right) \quad (5)$$

Kelima *dimensionless product* tersebut dapat disusun dalam bentuk hubungan fungsional sebagai berikut:

$$\left(\frac{Q_o}{D_p^{1/2} \cdot P_p \cdot g^{1/2} \cdot \rho_{pr}} \right) = C \cdot \left(\frac{Q_i}{D_p^{1/2} \cdot P_p \cdot g^{1/2} \cdot \rho_{pr}} \right)^a \cdot \left(\frac{V_u}{g^{1/2} D_{pr}^{1/2}} \right)^b \cdot \left(\frac{P_p \cdot D_p}{D_{pr}^2} \right)^c \cdot \left(\frac{D_p}{P_p} \right)^d \quad (6)$$

Untuk keperluan pelaksanaan penelitian dan menjamin independensi masing-masing *dimensionless product*, maka perlu dilakukan perubahan-perubahan terhadap beberapa *dimensionless product* tersebut. Untuk π_1 agar pangkatnya bulat, maka π_1 dikuadratkan sehingga menjadi $\pi_1 = \frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$. Untuk π_2 dikalikan dengan $\frac{1}{\pi_5}$ kemudian dipangkatkan dua sehingga menjadi $\pi_2 = \frac{Q_i^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$. Sedangkan pada π_3 dipangkatkan empat kemudian dikalikan dengan $\frac{1}{\pi_4}$, selanjutnya dikalikan dengan $\frac{1}{\pi_5}$ menjadi π_3 yang baru yaitu $\pi_3 = \frac{V_u^4}{g^2 D_{pr}^2}$. Perubahan pada π_4 , yaitu π_4 dikalikan dengan π_5 kemudian dipangkatkan $\frac{1}{2}$ sehingga menjadi $\frac{D_p}{D_{pr}}$. Pada penelitian ini diameter dan panjang pipa tetap (*constant*) sehingga π_5 dapat dikeluarkan dari persamaan, sehingga kelompok *dimensionless product* yang baru adalah sebagai berikut:

$$\pi_1 = \frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2} \quad (7)$$

$$\pi_2 = \frac{Q_i^2}{D_p^5 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2} \quad (8)$$

$$\pi_3 = \frac{V_u^4}{g^2 D_p^2} \quad (9)$$

$$\pi_4 = \frac{D_p}{D_{pr}} \quad (10)$$

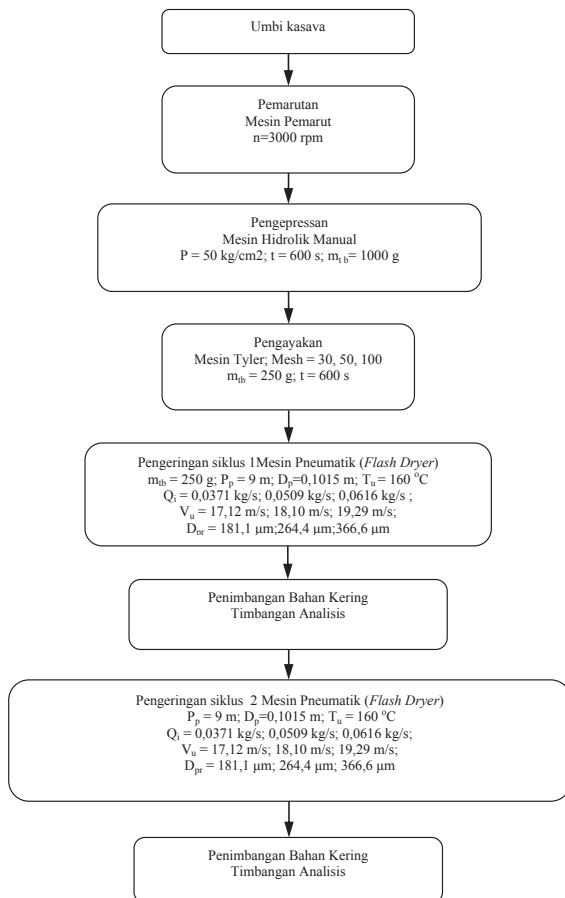
Dalam bentuk hubungan fungsional dapat ditulis sebagai berikut

$$\pi_1 = C (\pi_2)^a (\pi_3)^b (\pi_4)^c \quad (11)$$

$$\left(\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2} \right) = C \cdot \left(\frac{Q_i^2}{D_p^5 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2} \right)^a \cdot \left(\frac{V_u^4}{g^2 D_p^2} \right)^b \cdot \left(\frac{D_p}{D_{pr}} \right)^c \quad (12)$$

Bahan

Umbi kasava putih sebagai bahan penelitian utama diperoleh dari pasar Telo dan pasar Colombo, Yogyakarta. Kasava kemudian dikupas, dicuci, dan diparut dengan mesin.

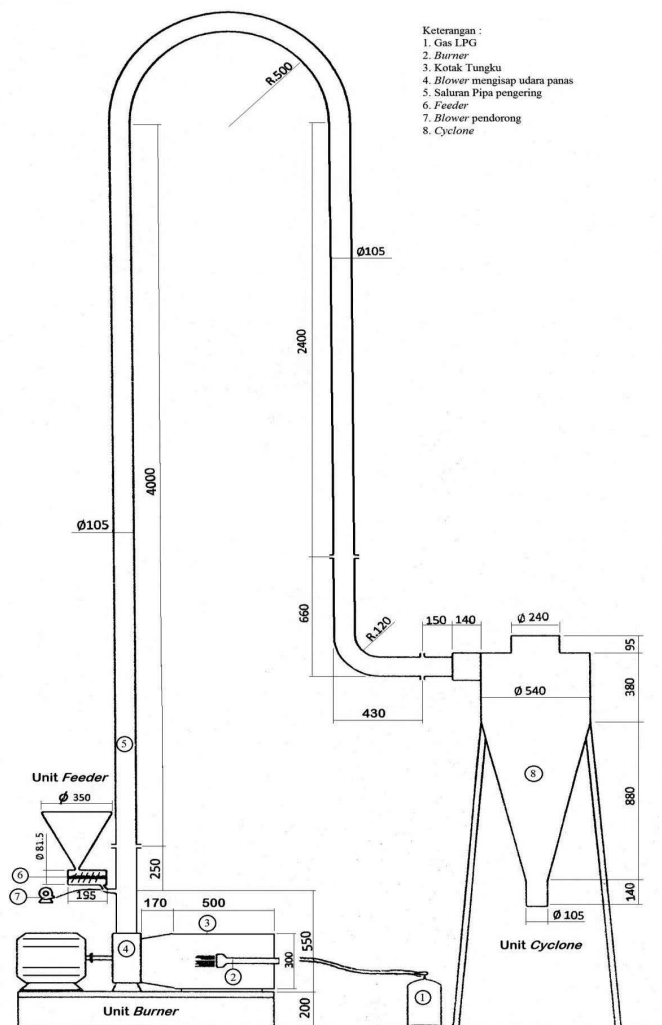


Gambar 1. Diagram alir penelitian kapasitas output tepung kering

Untuk mengurangi kandungan air dalam kasava, maka parutan yang diperoleh dikempa dengan mesin penekan hidrolik. Hasil pengempaan dihancurkan lagi secara manual menjadi tepung basah. Hasil tepung basah tersebut diayak dengan ayakan mesh 30 dan 50 dan 100 untuk mendapatkan variasi ukuran diameter tepung basah yang berbeda-beda. Tepung hasil pengayakan tersebut dikeringkan dengan *pneumatic dryer* yang telah dikonstruksi dalam dua kali proses untuk memenuhi standart kadar air tepung kasava seperti yang diberikan dalam SNI 01-2997-1996, bahwa kadar air akhir maksimal 12%wb. Gambar 1 menunjukkan bagan alir selengkapannya dari umbi kasava menjadi tepung yang dikeringkan.

Alat

Sebuah mesin pengering pneumatik didesain dan dibuat dengan menggunakan sumber pemanas gas LPG. Mesin dirancang sehingga memungkinkan untuk melakukan pengaturan-pengaturan pada beberapa bagiannya untuk dapat



Gambar 2. Peralatan pengering mekanis tipe pneumatik (flash drying)

memenuhi keperluan data untuk analisis dimensi. Kecepatan pemasukan bahan, suhu udara pengering, dan kecepatan aliran udara pengering dapat divariasi. Bahan tepung kasava basah hasil pengempaan yang telah dipisahkan ukurannya sesuai dengan keperluan dimasukkan lewat *inpuhopper* dan tepung kasava kering keluar pada ujung *outlet* dari *cyclone*. Gambar peralatan selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.

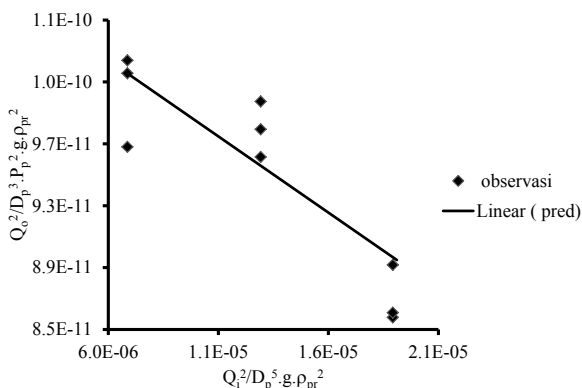
Prosedur Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian pengeringan dimulai dengan menghidupkan mesin pengering *flash dryer*, kemudian melakukan pengaturan-pengaturan mesin sesuai dengan keperluan dalam penelitian. Gambar 2 menunjukkan kapasitas input (Q_i) divariasi dalam tiga tingkat yaitu 0,0371 kg/s, 0,0509 kg/s, dan 0,0616 kg/s, kecepatan aliran udara pengering (V_u) divariasi dalam tiga tingkat yaitu 17,12 m/s, 18,10 m/s, dan 19,29 m/s, diameter partikel (D_{pr}) divariasi pada tiga ukuran juga yaitu 0,1811 mm, 0,2644 mm, dan 0,3666 mm. Sedangkan densitas partikel tepung (ρ_{pr}) adalah tetap 1266 kg/m³ yang diukur secara langsung. Data-data lain yang dibutuhkan untuk kepentingan analisis dimensi adalah konstan dimana diameter pipa (D_p) adalah 0,105 m, panjang pipa pengering (P_p) sepanjang 9 m, dan kecepatan gravitasi (g) adalah 9,8 m/s². Penelitian dilakukan pada kondisi lingkungan dengan suhu 29-30°C dan kelembaban relatif 69-70 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

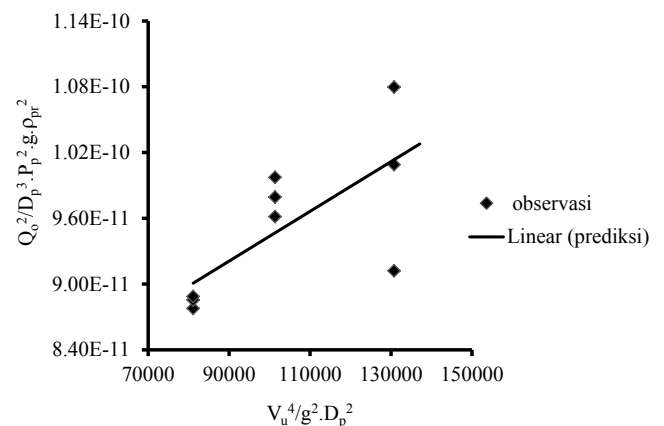
Nilai konstanta C, a, b, dan c diperoleh dari analisis *linier multiple regression* dari log persamaan (12). Berdasarkan hasil analisis tersebut diperoleh nilai $C = 1,1598 \times 10^{-9}$, $a = -0,1246$, $b = 0,2528$, $c = -0,1396$, sehingga hubungan antara Q_o dengan variabel-variabel proses pengeringan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\left(\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2} \right) = 1,1598 \times 10^{-9} \cdot \left(\frac{Q_i^2}{D_p^5 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2} \right)^{-0,1246} \cdot \left(\frac{V_u^4}{g^2 D_p^2} \right)^{0,2528} \cdot \left(\frac{D_p}{D_{pr}} \right)^{-0,1396} \quad (13)$$



Gambar 2. Grafik hubungan $\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$ dengan $\frac{Q_i^2}{D_p^5 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$

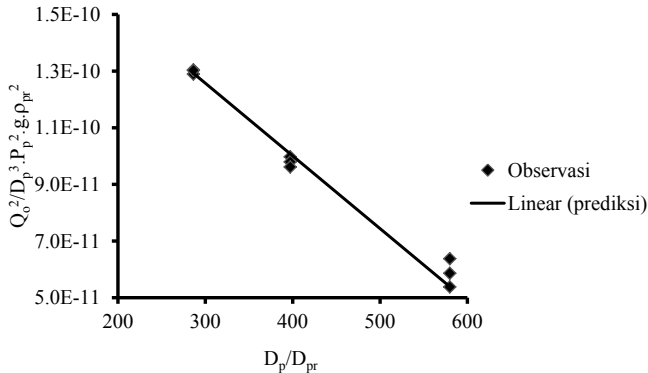
Gambar 2 menunjukkan hubungan antara $\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$ dengan $\frac{Q_i^2}{D_p^5 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$ dengan rentang variasi dari $6,866 \times 10^{-6} - 1,911 \times 10^{-5}$. Dapat dilihat bahwa naiknya nilai $\frac{Q_i^2}{D_p^5 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$ akan mengakibatkan nilai $\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$ menurun atau secara garis besarnya output dari proses pengeringan menurun. Naiknya nilai $\frac{Q_i^2}{D_p^5 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$ dapat disebabkan oleh naiknya nilai kapasitas input (Q_i). Kenaikkan Q_i ini akan mengakibatkan jumlah bahan yang masuk ke dalam mesin pengering per satuan waktu semakin besar, yang akan mengakibatkan semakin besar beban terhadap laju aliran udara pengering sehingga akan berakibat pada penurun output proses pengeringan. Peningkatan nilai $\frac{Q_i^2}{D_p^5 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$ dapat juga disebabkan karena penurunan nilai diameter pipa pengering D_p dan densitas partikel bahan ρ_{pr} . Menurunnya nilai D_p akan cenderung meningkatkan nilai berat satuan curah dari bahan (bahan semakin padat) sehingga akan menurunkan laju aliran udara pengering yang pada akhirnya juga akan menurunkan laju output proses pengeringan. Adapun penurunan ρ_{pr} sebenarnya akan cenderung meningkatkan laju output, namun demikian kemungkinan pengaruh yang ditimbulkan masih lebih kecil dibandingkan dengan variabel-variabel lain yang ikut berubah dengan berubahnya nilai ρ_{pr} tersebut, sehingga cenderung menurunkan nilai output proses pengeringan. Djaeni dkk. (2012) berpendapat bahwa kapasitas input merupakan yang dapat diatur sehingga dapat dioperasikan secara kontinyu untuk mencapai kapasitas output tertentu.



Gambar 3. Grafik hubungan $\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$ dengan $\frac{V_u^4}{g^2 \cdot D_p^2}$

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara $\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_{pr}^2}$ dengan $\frac{V_u^4}{g^2 \cdot D_p^2}$, dimana pada penelitian ini $\frac{V_u^4}{g^2 \cdot D_p^2}$ divariasi dari 81130,526 – 137116,116. Dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan udara pengering dan semakin kecil nilai diameter pipa D_p , maka nilai ratio $\frac{V_u^4}{g^2 \cdot D_p^2}$ semakin besar, atau dengan kata lain nilai Q_o akan semakin meningkat. Meningkatnya kecepatan udara pengering V_u , menunjukkan bahwa laju aliran bahan di dalam pipa pengering semakin

cepat sehingga laju output bahan juga meningkat. Hal ini didukung oleh Syafrudin dan Purwanto (2009), bahwa kecepatan udara pengering yang cepat akan membawa uap air dari permukaan dan mencegah uap air tersebut menjadi jenuh di permukaan bahan. Semakin besar volume udara yang mengalir, maka semakin besar pula kemampuannya dalam membawa dan menampung air dari permukaan bahan.



Gambar 4. Grafik hubungan $\frac{D_p}{D_{pr}}$ dengan $\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_p^2}$

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara $\frac{D_p}{D_{pr}}$ dengan $\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_p^2}$, dimana pada penelitian ini $\frac{D_p}{D_{pr}}$ divariasi dari 579,790 - 286,338. Dapat diketahui bahwa semakin besar diameter pipa (D_p) dan semakin kecil nilai diameter partikel (D_{pr}), maka nilai ratio $\frac{D_p}{D_{pr}}$ semakin besar dan sebaliknya nilai kapasitas output bahan Q_o akan semakin menurun. Membesarnya diameter pipa pengering D_p , akan mengakibatkan kecepatan aliran udara pengering semakin menurun sehingga laju aliran bahan di dalam pipa pengering akan menurun juga sehingga akan menurunkan kapasitas output proses pengeringan (Q_o). Adapun meningkatnya D_{pr} menunjukkan bahwa ukuran butir tepung basah yang dikeringkan semakin besar. Semakin besar ukuran butir tepung maka akan semakin lambat laju

aliran bahan di dalam pipa pengering yang pada akhirnya akan menurunkan kapasitas output pengeringan. Sependapat dengan Khatir dkk. (2011) bahwa semakin tebal pengeringan semakin lambat laju pengeringan.

Hubungan antara Q_o observasi dan Q_o prediksi dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai Q_o observasi = 0,01385 kg/s dan Q_o prediksi 0,01424 kg/s merupakan nilai tertinggi dicapai pada kondisi $Q_i = 0,0509$ kg/s pada kecepatan udara pengering (V_u) = 18,10 m/s dengan diameter partikel (D_{pr}) = 0,3666 mm. Sedangkan nilai terendah Q_o observasi = 0,00929 kg/s dan Q_o prediksi 0,00953 kg/s dicapai pada kondisi $Q_i = 0,0509$ kg/s pada kecepatan udara pengering (V_u) = 18,10 m/s dengan diameter partikel (D_{pr}) = 0,1811 mm. Dari gambar ini dapat diketahui, bahwa hubungan antara kedua nilai tersebut sangat dekat dengan nilai $R^2 = 0,939$ yang sangat dekat dengan satu. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan Q_o yang diperoleh sangat mungkin dapat dipakai untuk memprediksi nilai kapasitas output pada proses pengeringan tepung secara pneumatik dengan baik.

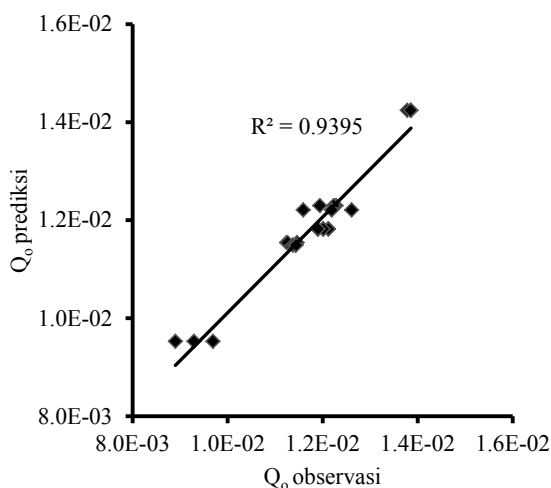
Untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing *dimensionless product* terhadap nilai Q_o maka telah dilakukan uji sensitivitas dengan menaikkan dan menurunkan masing-masing nilai *dimensionless product* tersebut 10%. Berdasarkan hasil uji sensitivitas tersebut dapat diketahui bahwa secara berturut-turut *dimensionless product* yang paling berpengaruh terhadap Q_o adalah, $\frac{D_p}{D_{pr}}$, $\frac{V_u^4}{g^2 D_p^2}$ dan $\frac{Q_i^2}{D_p^3 \cdot g \cdot \rho_p^2}$ dimana prosentase pengaruhnya terhadap nilai Q_o berturut-turut 11,53%, 2,53%, dan 1,25%.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hubungan matematis antara kapasitas output dengan variabel-variabel proses pengeringan yang dipilih dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\left(\frac{Q_o^2}{D_p^3 \cdot P_p^2 \cdot g \cdot \rho_p^2} \right) = 1,1598 \times 10^{-9} \cdot \left(\frac{Q_i^2}{D_p^3 \cdot g \cdot \rho_p^2} \right)^{-0,1246} \cdot \left(\frac{V_u^4}{g^2 D_p^2} \right)^{0,2528} \cdot \left(\frac{D_p}{D_{pr}} \right)^{-0,1396}$$

Persamaan tersebut mempunyai nilai R^2 yang cukup besar (0,939) sehingga sangat mungkin untuk dapat dipakai dalam memprediksi nilai kapasitas output pada proses pengeringan tepung secara pneumatik. Adapun *dimensionless product* yang paling berpengaruh terhadap persamaan tersebut adalah $\frac{D_p}{D_{pr}}$. Persamaan tersebut berlaku untuk nilai $\frac{Q_i^2}{D_p^3 \cdot g \cdot \rho_p^2}$ dari $6,866 \times 10^{-6}$ sampai dengan $1,911 \times 10^{-5}$, $\frac{V_u^4}{g^2 D_p^2}$ dari 81130,526 sampai dengan 137116,116, dan $\frac{D_p}{D_{pr}}$ dari 579,790 sampai dengan 286,338.



Gambar 5. Grafik hubungan observasi Q_o dengan Q_o prediksi

DAFTAR PUSTAKA

- Canavas, B.G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P. dan Yan H. (2005). *Food Fowders: Physical Properties, Processing, and Functionality*. Kluwer Academic/ Plenum Publishers, New York.
- Combs, W.B. dan Hubbard, E.F. (2010). Some factors influencing the capacity of the atmospheric drum drier. *Journal of Dairy Science* **15**(2): 147-154.
- Dhankhar, P. (2014). Drying: Basic food preservation method. *Journal Science and Technoledge* **2**(5): 235-244.
- Djaeni, M., Praseyaningrum, A. dan Mahayana, A. (2012), Pengeringan kerajinan dari rumput laut *Eucheuma Cottonii* pada spray dryer menggunakan udara yang didehumidifikasi dengan zeolit alam ditinjau: Kualitas produk dan efisiensi energy. *Jurnal Momentum* **8** (2): 28-34.
- Khatir, R., Ratna dan Wardani (2011), Karakteristik pengeringan tepung beras menggunakan alat pengering tipe rak. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi, Biologi Edukasi* **3**(2): 1-4.
- Kilfoil, M. (2003). Numerical simulation of simultaneous drying and pneumatic conveying: small metallic filter cake particles. *Application of Computers and Operations In the Research in the Minerals Industries, South African Institute of Mining and Metallurgy*, p. 283-288.
- Kute, S., Patil, K., Salve, R. dan Mandle, S. (2014). Evolution of compressive strength of cement using Rayleigh 'dimensional analysis approach. *Journal of Research in Engineering and Technology* **3**(9):1-4.
- Lam, S.H. (2004). *Dimensional Analysis*. ME351B Fluid Mechanics, Sanford University, Wina.
- Mao, Q., Fazio, P. dan Rao. J. (2009). In-cavity evaporation allowance-a drying capacity indicator for wood-frame wall system. *Journal Building and Environment* **44**: 2418-2429.
- Mujumdar, A.S. (1987). *Handbook of Industrial Drying*. Marcel Dekker, Inc., New York and Basel.
- Nugroho, J., Primawati, Y.F. dan Bintoro, N. (2012). Proses pengeringan singkong (*monihot esculenta crantz*) parut dengan menggunakan *pneumatic dryer*. Prosiding Seminar Nasional Perteta, Bali [13-14 Juli 2012].
- Pelegrina, A.H. dan Crapiste, G.H. (2001). Modelling the pneumatic drying of food particles. *Journal Food Engineering* **93**(2): 151-161.
- Sampaio, C.P., Nogueira, R.M., Roberto, C.D. dan Silva, J.S. (2007). Development of a dryer with airflow reversal and a pneumatic system for grain movement. *Journal Biosystems Engineering* **98**: 33-38.
- Syafrudin dan Purwanto D.P. (2009). Oven pengering kerupuk berbasis mikrokontroler Atmega 8535 menggunakan pemanas pada industry rumah tangga. *Jurnal Teknologi* **2**(1):70-79.